
Méthodologie pour un système d'avancement automatisé du tracteur agricole

Olivier Muller

Dans le cadre de l'optimisation de la conduite du tracteur agricole, des travaux sont menés au Cemagref sur l'affichage d'informations et de conseils à bord du tracteur. Dans le numéro 6 d'ingénierie (Muller *et al.*, 1996), nous avons présenté plus en détails l'ordinateur de bord sur lequel nous travaillons. La première icône visible sur l'écran embarquée était relative au moteur. Nous allons présenter ici la base de connaissances sollicitée par l'activation de la première icône : le but est d'informer l'opérateur sur le meilleur rapport de boîte et le meilleur régime moteur à sélectionner, tout en gardant une certaine souplesse de conduite. Cela permet les économies d'énergie résultant ainsi essentiellement d'un meilleur rendement du moteur. Ces économies d'énergie proviennent d'une meilleure combustion, ainsi que de la réduction du régime moteur (c'est-à-dire des réductions des frictions internes du moteur, des réductions de rotation de la pompe hydraulique, etc.). Ces économies de fuel dépendent aussi de plusieurs facteurs, le niveau de puissance demandé au moteur, le niveau des hétérogénéités du terrain, les caractéristiques du couple du moteur, et des contraintes lors du travail à la prise de force (Stephen *et al.*, 1981). En effet, au cours du travail, le conducteur de tracteur a besoin d'ajuster le système tracteur-outil quand la charge demandée au moteur varie, par exemple à cause des variations du sol.

Le résultat agronomique d'un travail du sol étant essentiellement lié à la vitesse d'avancement, il est important de préserver une même vitesse d'avancement, en pente, comme à plat. Le conducteur est donc amené à changer le régime moteur et le

rapport de boîte sélectionné, tout en préservant une certaine réserve de puissance et de couple. Aussi, le problème se pose-t-il de façon plus évidente avec les tracteurs actuels qui ont plus de vingt vitesses avant et arrière.

Une nouvelle méthode est ici proposée pour déterminer le rapport de boîte et régime moteur appropriés, selon un certain niveau de puissance développé, et pour une même vitesse d'avancement. Une nouvelle représentation graphique et une formulation de conseils sont aussi proposées pour un contrôle visuel à bord du tracteur.

Rappels sur l'interprétation des courbes de tracteurs

Afin de pouvoir juger des qualités d'un moteur diesel et de l'utiliser au mieux, il est souhaitable de savoir lire au mieux ses courbes caractéristiques (Cedra, Gauthier 1990 ; Cedra, 1992). Les courbes ci-après représentent des essais au banc effectués à la prise de force, pour un tracteur immobile (figure 1). Elles donnent la représentation de la puissance, du couple au moteur, des consommations horaires et spécifiques en fonction de la vitesse du moteur.

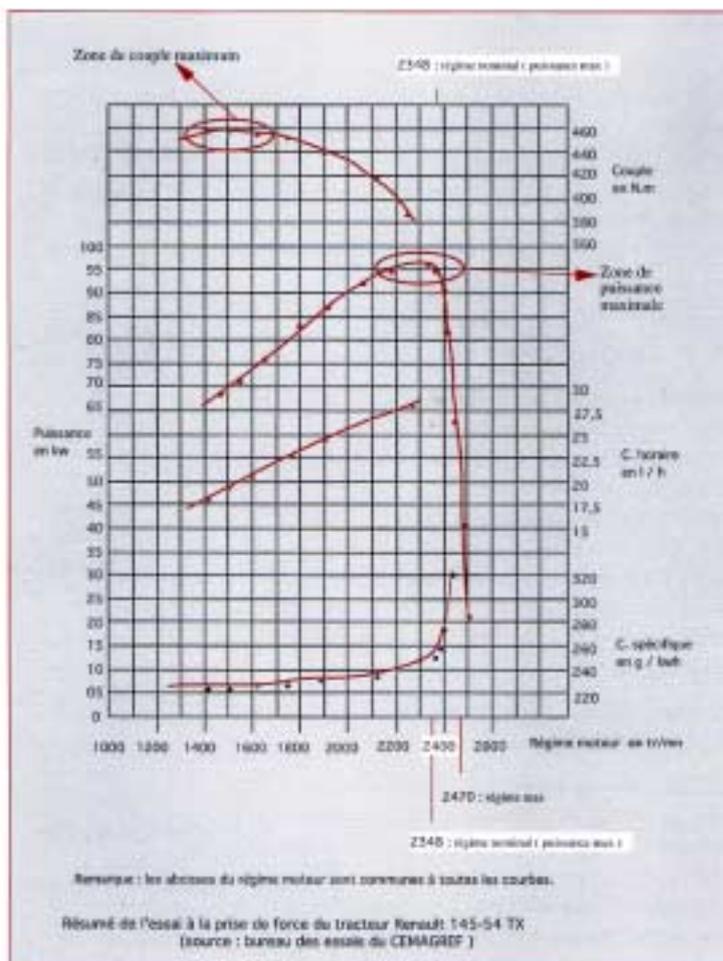
La charge d'un moteur correspond au pourcentage de l'utilisation de sa puissance maximale.

Un moteur dit à « pleine charge » exprime tout son potentiel de puissance. Le régulateur de la pompe d'injection ne fonctionne pas dans cette situation. En prenant pour référence la base des abscisses croissantes, cela correspond à la portion de courbe des puissances croissantes.

Olivier Muller
Cemagref
Parc de Touvoie
BP 121
92125 Antony Cedex

Un moteur dit « à charge partielle » a son régulateur de pompe à injection en action : si au cours du travail, la vitesse du moteur tend à diminuer parce que l'effort demandé (se traduisant en Kw) augmente, une force centrifuge, diminuant, conduira à augmenter le débit de la pompe d'injection (donc de fuel), par le biais d'un jeu de masselottes et d'une tringlerie. En revanche, si la vitesse du moteur tend à augmenter parce que l'effort demandé diminue, le régulateur agira en réduisant le débit injecté jusqu'à la stabilisation du régime moteur, dont la vitesse de rotation dépendra de la position de la manette des gaz. L'action du régulateur a pour but de maintenir constant dans une certaine mesure la vitesse du moteur, donc la vitesse d'avancement du tracteur. En prenant pour référence la base des abscisses croissantes, cela correspond à la portion de courbe des puissances décroissantes.

Figure 1. - Courbes représentant des essais aux bancs effectués à la prise de force d'un tracteur immobile ▼



Pour établir les courbes ci-après, on fait actionner progressivement un frein sur la prise de force (PdF), ce qui traduit les comportements du moteur.

Remarque : une relation permet de passer du régime moteur au régime PdF ; cette relation n'est pas toujours constante chez un même constructeur, quels que soient ses tracteurs, et elle est différente d'un constructeur à l'autre. La valeur du régime moteur est égale de 2 à 2,5 multiplié par la valeur du régime prise de force.

Après avoir vu ce rapide rappel, revenons à notre problématique. Elle concerne l'optimisation du régime moteur et du rapport de boîte, pour un certain niveau de puissance développé lors d'un travail réalisé pour une opération culturale.

État des connaissances et des réalisations au niveau de la recherche et de l'industrie

Du point de vue de la recherche, en 1982, Schrock *et al.*, travaillèrent sur un système indiquant le passage possible à la vitesse supérieure : cela consistait en un calcul pour maintenir la même vitesse d'avancement, avec le rapport de boîte supérieur. Le système vérifiait alors que la puissance résultante était inférieure à 80 % de la puissance maximum disponible (donc à pleine charge), au même régime moteur, en utilisant le graphe du moteur. L'étape suivante est répétée jusqu'à ce que le rapport de boîte le plus élevé possible soit atteint, ou que la puissance développée excède la limite de 80 %. Le système donne donc au conducteur le nouveau régime moteur et rapport de boîte à adopter.

En 1983, Chancellor et Thai développèrent un système à partir de câbles permettant un changement automatique des vitesses, en utilisant le raisonnement précédent.

En 1984, Grogan *et al.*, utilisèrent aussi la procédure de Schrock, et travailla sur le système précédent. Il utilisa un synthétiseur vocal pour communiquer avec l'opérateur, afin d'augmenter la perception du conseil. Son système était aussi capable de prédire la consommation de fuel pour le rapport de boîte le plus grand possible, et de le comparer avec la consommation en cours.

En 1985, Wang et Zoerb développèrent un écran qui donnait une valeur nulle, positive ou négative

quand le moteur travaillait à une combinaison idéale ou non.

Du point de vue industriel, différents systèmes ont été développés sur des tracteur supérieurs à 100 chevaux pour l'affichage d'informations concernant la réduction de consommation. Certains constructeurs de tracteurs, par des systèmes électroniques embarqués, *suggèrent* aujourd'hui des conseils (c'est le cas du Datatronic de Massey Ferguson), d'autres en *délivrent* (cas de l'Acet de Renault), et un seul est *relié à un automatisme* (Infomat de Steyr), permettant de modifier automatiquement la vitesse d'avancement sur seulement trois niveaux différents de rapports de boîte. Ces trois boîtiers reçoivent des informations issues de capteurs différents selon les constructeurs : sonde thermocouple mesurant la température des gaz d'échappement pour Renault, débitmètre mesurant la quantité de fuel consommé pour Massey, capteur de position de l'aiguille de l'injecteur chez Steyr.

Aujourd'hui, les boîtes de vitesses de type « *powershift* » permettent à l'opérateur, par action sur une manette de changer de rapport de boîte sans action sur la pédale d'embrayage. Le conducteur n'a plus à gérer ses différents leviers d'avancement en position débrayée, temps pendant lequel le tracteur au travail a tendance à s'arrêter. Notons, que, même si après sélection les vitesses changent automatiquement, le régime moteur ne varie lui pas beaucoup, à cause de l'action du régulateur de la pompe à injection. En effet, l'action des régulateurs de pompe à injection permet au moteur de délivrer des puissances différentes, dans une certaine mesure, sans modifier le régime moteur. Lors des travaux utilisant la Prise de Force (exemple semis en combiné), les systèmes *powershift* représentent un grand intérêt dans la mesure où ils permettent de modifier la vitesse d'avancement, sans modifier le régime de rotation de la Prise de Force.

De nouvelles vitesses difficiles à gérer

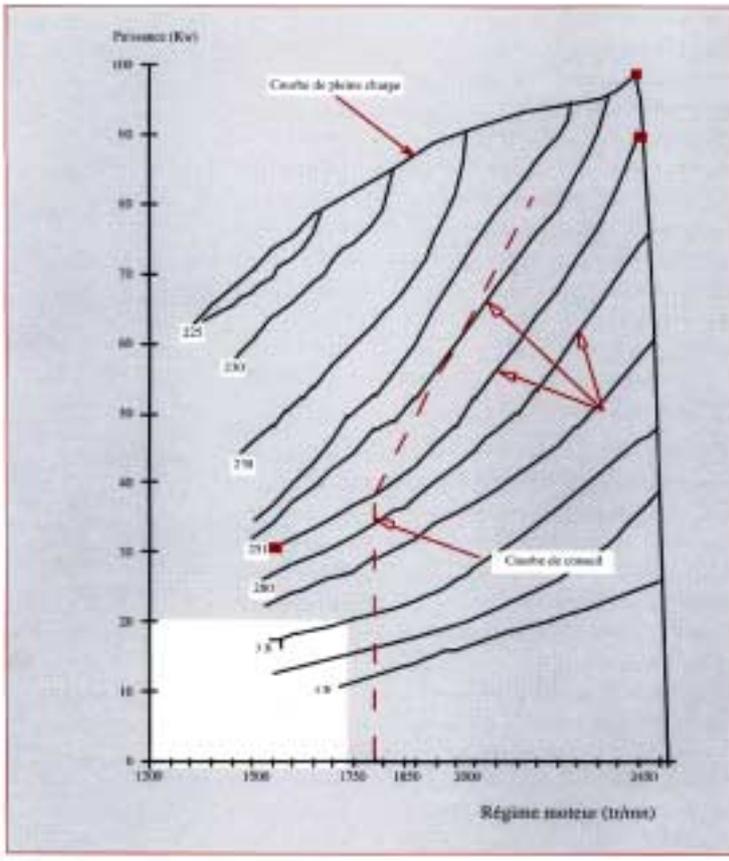
Aujourd'hui, le nombre de vitesses disponibles à bord d'un « gros » tracteur a considérablement augmenté (> 100 chevaux). Il n'est pas rare d'avoir jusqu'à 30 rapports différents (par exemple, Deutz avec son tracteur « Agro star » équipé de 48 vitesses, Fendt avec son « Favorit » de 40 vitesses).

La multiplicité des vitesses induit une plus grande combinaison qu'avant, ce qui peut perturber le conducteur, mais ce qui permet effectivement d'optimiser le travail le plus près possible des 80 % de la puissance maximale du moteur. Pour assurer la même vitesse d'avancement, la nécessité pour un conseil ou une aide, à savoir quel rapport de boîte et quel régime moteur combiné, est alors plus nécessaire qu'avant. En effet, il y a quelques années, pour assurer la même vitesse d'avancement, le nombre de possibilités était plus limité par les anciennes boîtes de vitesses dont le nombre de rapports possibles était moindre (inférieur à 16).

Une première alternative serait le développement d'une boîte complètement automatique, à savoir une boîte *powershift*, couplée avec une gestion électronique et autonome de la pompe à injection. L'opérateur n'aurait plus alors à gérer physiquement les rapports de vitesses et le régime moteur. Ce serait ergonomiquement un acquis supplémentaire, puisqu'il aurait alors à informer seulement le système de la valeur de la vitesse d'avancement désirée. Selon la puissance requise pour réaliser le travail, le système générerait lui-même le bon rapport de boîte et le bon régime moteur pour rester le plus proche possible des 80 % de la puissance maximale. Mais dans tous les cas, ce serait le système et la boîte de vitesse qui travailleraient continuellement, en changeant très souvent de rapport de boîte et de régime moteur...

Une seconde alternative serait de sélectionner immédiatement le bon rapport de boîte et le bon régime moteur (au lieu d'une procédure au pas à pas proposée par Shrock et Grogan), en ne recherchant plus à travailler « à tout prix » le plus proche possible des 80 % de la puissance maximale du moteur, mais en garantissant un meilleur confort de conduite par une plus grande réserve de puissance. Cela implique donc de rester suffisamment en charge partielle, pour établir un compromis entre la consommation, le rendement moteur, et la réserve de puissance pour le confort de conduite. Il s'agit donc de déterminer des zones de fonctionnement du moteur, au lieu d'une simple courbe à respecter, parallèlement à la courbe de puissance de pleine charge du moteur.

C'est cette seconde approche que nous allons exposer maintenant.



▲ Figure 2. -
Graphique de la
puissance du moteur
de Renault 145/54,
avec sa courbe de
conseil

Méthodologie proposée

■ Une méthode de calcul pour déterminer les rapports de boîte et les régimes moteurs

La première étape de la méthodologie consiste à obtenir le graphique caractéristique du moteur du tracteur choisi, et à y dessiner la courbe de conseil donnant la relation entre les régimes et les charges du moteur (figure 2). Cette courbe de conseil correspond à la courbe de renvoi que l'on utilisera par la suite pour le conducteur de tracteur quand sa conduite sera jugée non satisfaisante. Le traçage de cette courbe de renvoi tient compte des zones de rendement du moteur (consommation spécifique), des réserves de puissance et de couple jugées suffisantes, compte tenu des différents niveaux de puissance sollicitée. Le traçage de la courbe de renvoi fait appel à une approche quelque peu stochastique (ainsi que dans l'étape suivante) dans la mesure où le niveau de réserve de puissance et

de couple dépend du niveau d'hétérogénéité des sols et de l'appréciation relative des différents utilisateurs.

Afin de pouvoir disposer d'une pression hydraulique toujours suffisante, disponible pour les outils associés au tracteur, le début de la courbe de renvoi commence à 1750 tr/mn pour le régime moteur. La fin de la courbe s'arrête à un niveau de puissance au delà duquel le tracteur est globalement bien utilisé : l'adaptation tracteur-outil est bonne, puisque la puissance moteur est largement sollicitée.

La deuxième étape consiste à établir des zones de couleurs différentes autour de cette zone de renvoi, en fonction du niveau de « mauvaise utilisation » du moteur. Trois zones de couleurs différentes peuvent être dessinées, signifiant un correct usage ou non :

- mauvaise utilisation, qui conduit à alarme visuelle sur le tableau de bord (zone gris foncé)
- utilisation moyenne, qui peut être améliorée (zone gris clair),
- bonne utilisation du moteur (zone « blanche »).

• La zone en gris foncé (figure 3) signifie une mauvaise utilisation du moteur. Il y a, sur la figure 3 précédente, deux zones de couleur gris foncé : l'icône moteur de l'écran embarqué à bord du tracteur clignotera *en rouge*, si les paramètres (régime, puissance) du moteur donnent un point s'y trouvant. Un message d'alarme est affiché, incitant le conducteur à modifier les réglages par un nouveau rapport de boîte et un nouveau régime moteur.

• La première zone en gris foncé, à gauche, correspond à une zone dépourvue de réserve de couple, où le moteur risque de caler rapidement si le tracteur rencontre une charge supplémentaire. Cette zone correspond aussi à un très faible régime moteur, ce qui engendrera des temps longs de réponse du circuit hydraulique, s'il est sollicité (par exemple, retournement de charrue en bout de champ). Il vaut mieux, dans ce cas, augmenter son régime moteur, quitte à rétrograder une vitesse, pour conserver la même puissance (la même vitesse d'avancement).

• La seconde zone en gris foncé, à droite, correspond à une zone où les consommations spécifiques du moteur sont les plus mauvaises : le rendement moteur est mauvais, l'énergie est gas-

pillée, et, il vaut mieux alors, pour le même niveau de puissance sollicité, réduire son régime moteur, et passer la vitesse supérieure.

– La zone en gris clair signifie un usage intermédiaire, ni franchement bon, ni franchement mauvais du moteur : l'icône moteur de l'écran embarqué, à bord du tracteur, clignote en orange sur l'écran principal. On peut avoir un aperçu sur le message de conseils nouveau régime moteur et rapport de boîte associé en sollicitant l'écran embarqué par un bouton prévu à cet effet, mais il n'y a pas d'affichage de message d'alarme au sens strict dans une telle situation.

– La zone blanche signifie une bonne utilisation du moteur, où le réglage régime moteur (et donc rapport de boîte) est correct.

Les étapes suivantes de notre méthodologie vont se reboucler continuellement lors d'un travail du tracteur au champ. Il s'agit de la scrutation des données issues des capteurs mesurant la puissance délivrée par le moteur, du régime moteur, et du rapport de boîte engagé.

La troisième étape consiste à utiliser la procédure de détermination du régime moteur.

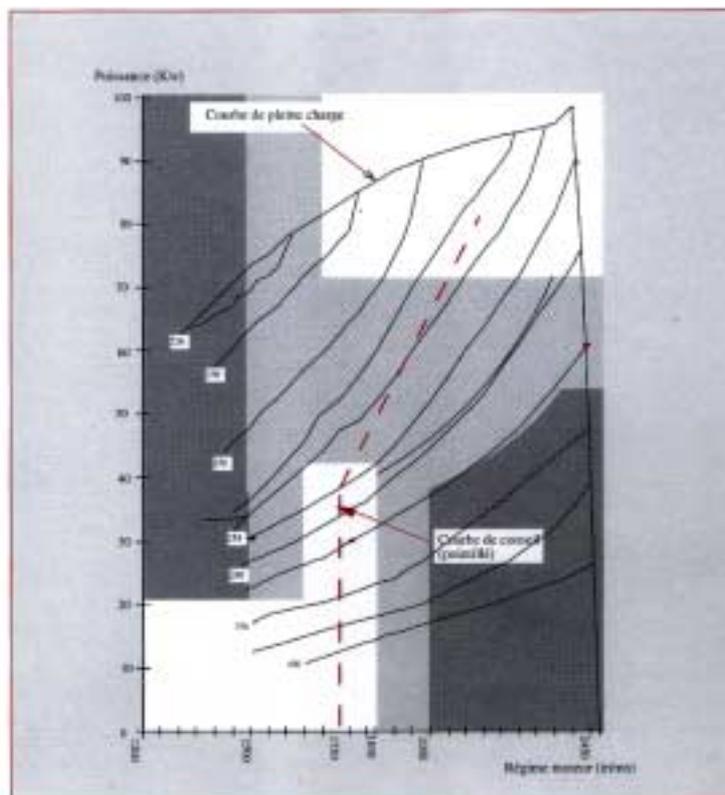
Imaginons-nous au travail dans un champ. Un microprocesseur embarqué peut utiliser la procédure suivante, lors du tracteur au travail.

– Sur le graphe du moteur, vérifier si le point correspondant à la situation en cours est situé ou non dans la zone blanche. Il s'agit du point aux coordonnées (régime moteur, puissance) en cours.

– Si tel n'est pas le cas, sélectionner et stocker le régime moteur conseillé (pour la même puissance délivrée) sur la courbe de renvoi en pointillée (figure 2).

Dans le cas de mauvais réglages constatés, il est donc nécessaire, pour un même niveau de puissance, de connaître les coordonnées précises du point sur la courbe de renvoi. A partir du point de mesure, il suffit pour cela de se déplacer horizontalement, le long de l'axe des régimes moteur, d'atteindre le point sur la courbe de renvoi, et d'en déduire aussitôt, verticalement, le nouveau régime moteur à adopter.

Restera alors à déterminer le nouveau rapport de boîte à adopter. C'est ce que nous allons voir dans l'étape ci-après.



La quatrième étape consiste à utiliser la procédure de détermination du nouveau rapport de boîte à adopter. Cette étape est la plus intéressante : elle-même ponctuée par différentes phases de raisonnement. Notre microprocesseur continue la procédure suivante, après avoir déterminé le nouveau régime moteur :

- Sélectionner la vitesse théorique,
- Diviser, et calculer X1, tel que :

$$\frac{\text{Vitesse théorique (km/h)}}{\text{Régime moteur (tr/mn)}}$$

- Pour chaque X du tableau suivant, tableau 1, soustraire X1 (stocké) à X.
- Sélectionner le plus petit résultat (en valeur absolue), sélectionner le nouveau rapport de boîte correspondant et son x approprié, et le stocker.
- Sélectionner la vitesse théorique, et la multiplier avec le X sélectionné (le résultat donne la nouveau régime moteur approprié pour la même vitesse d'avancement).

▲ Figure 3. - Graphe de la puissance du moteur de Renault 145/54, avec ses zones colorées

| Gamme | Rapport de vitesse | v*= vitesse km/h (rg.=2350 tr/.mn) | $X = \frac{v^*}{2350 \text{ rpm}}$ |
|-------|-----------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 1 ^e Tortue | 2,16 | 0,0009191 |
| 1 | 1 ^e Lièvre | 2,67 | 0,0011362 |
| 1 | 2 ^e Tortue | 3,43 | 0,0014596 |
| 1 | 2 ^e Lièvre | 4,24 | 0,0018043 |
| 1 | 3 ^e Tortue | 5,38 | 0,0022894 |
| 1 | 3 ^e Lièvre | 6,66 | 0,002834 |
| 1 | 4 ^e Tortue | 8,48 | 0,0036085 |
| 1 | 4 ^e Lièvre | 10,50 | 0,0044681 |
| 2 | 1 ^e Tortue | 6,44 | 0,0027404 |
| 2 | 1 ^e Lièvre | 7,98 | 0,0033957 |
| 2 | 2 ^e Tortue | 10,25 | 0,0043617 |
| 2 | 2 ^e Lièvre | 12,69 | 0,0054 |
| 2 | 3 ^e Tortue | 16,09 | 0,0068468 |
| 2 | 3 ^e Lièvre | 19,93 | 0,0084809 |
| 2 | 4 ^e Tortue | 25,37 | 0,0107957 |
| 2 | 4 ^e Lièvre | 31,42 | 0,0134979 |

Remarque : v* vitesse spécifique pour des pneus arrières type 20.8-38 ; si on change de monte de pneumatique (pneus de taille différente), les vitesses d'avancement seront légèrement différentes

Tableau 1. - Paramètres spécifiques de la cinématique du tracteur

■ Exemple

Prenons un exemple pour illustrer les deux dernières étapes de notre méthodologie : soit une situation de travail (point A sur la figure 4) défini par les paramètres suivants :

- Puissance développée par le moteur : 62 kW,
- Vitesse théorique d'avancement : 8,8 km/h,
- Régime moteur (nouveau) : 1950 tr/mn.

Pour la même vitesse d'avancement, la nouvelle situation conseillée sera celle définie par le point B sur la carte, car elle permet une meilleure réserve de couple et de puissance. C'est une meilleure utilisation du moteur et une amélioration du confort de conduite, même si la consommation spécifique augmente, ainsi que la consommation horaire. Don la situation conseillée sera la suivante :

- Puissance développée par le moteur : 62 kW,
- Vitesse théorique d'avancement : 8,8 km / h,
- Régime moteur (nouveau) : 1950 tr/mn.

Le calcul de X1 donne : $X1 = (8,8/1950) = 0,0045182$; le X le plus proche est 0,0044681 et le rapport de vitesse correspondant est « 1 rang 4^e rapide ».

Pour maintenir exactement la même vitesse d'avancement (8,8 km/h), le régime moteur doit être encore légèrement modifié. Le régime moteur sera alors : $8,8 / 0,0044681 = 1970 \text{ tr/mn}$ (ce qui est un peu différent des 1950 tr/mn initiaux).

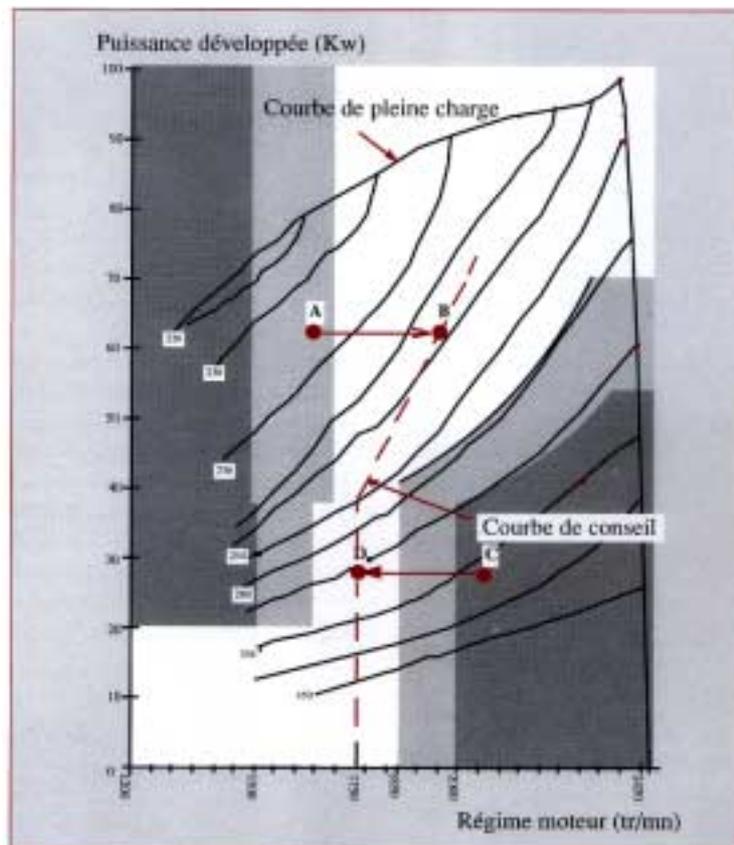
■ Représentation graphique des zones de conduite optimisée

La carte du régime moteur, vue précédemment, peut être affichée sur l'écran embarqué à bord du tracteur. Ainsi, le conducteur est capable d'identifier à bord de son tracteur au travail, l'évolution des réglages de son moteur, à savoir la puissance en fonction du régime moteur (illustré par un point lumineux se déplaçant sur l'écran). C'est un nouveau mode de représentation de la gestion du régime moteur.

Perspectives pour un système d'avancement automatisé

Pour conserver la même vitesse d'avancement, la tendance actuelle est le développement du nombre de rapports de boîte, ce qui implique un plus grand nombre de combinaisons qu'avant. Une méthodologie a été mise au point et est présentée dans cet article pour conseiller au conducteur les meilleurs rapports de boîte et régimes moteur, pour une certaine puissance délivrée et pour déterminer ces informations. Des zones de bon fonctionnement sont tracées sur le graphe du moteur, prenant en compte au même instant des économies de fuel, un souci ergonomique (le conducteur ne doit pas se voir conseillé de changer continuellement de rapport de boîte). Une procédure est ainsi proposée, pour sélectionner directement le bon rapport de boîte et le bon régime moteur, ainsi qu'une nouvelle représentation de l'état de travail du moteur, donnant à l'opérateur une compréhension rapide de l'état de fonctionnement.

Au Cemagref, aujourd'hui, ce système équipe une boîte mécanique, et l'opérateur doit changer lui-même les leviers de commande de la boîte de vitesse. Au delà de cette amélioration, un réel progrès pourrait venir du fait que l'on pourrait coupler ces conseils avec une boîte de type *powershift* et une régulation électronique de la pompe à injection, passant ainsi à l'âge du tracteur à réglages automatiques. Cela permettrait de coupler les conseils avec des réglages automatisés : le tracteur garderait la même vitesse d'avancement, quelles que soient les conditions de variations de puissance. Le conducteur n'aurait qu'à informer le système embarqué de la vitesse d'avancement désirée, et les automates seraient gérés par le microprocesseur embarqué. Ainsi, si l'agriculteur le désire, le tracteur pourra conserver la même vitesse d'avancement, quelles que soient les variations de puissance sollicitées par le travail de traction de son outil, grâce aux changements automatiques des rapports de boîte et du régime moteur (cas des travaux profonds du sol, cas des travaux sur parcelles pentues, ou cas encore de la conduite de remorques chargées sur route vallonnée, au moment des récoltes). Mais ceci reste, bien sûr, vrai pour les opérations sans travail à la prise de force qui demandent un régime moteur constant. Dans un tel cas, la vitesse désirée par le conducteur se-



rait approximée, et le microprocesseur ne gèrerait que le passage automatique des vitesses, tout en gardant constant le régime moteur (1000 tr ou 540 tr, étant les deux régimes normalisés pour la prise de force et imposant donc des régimes moteurs fixes, selon les différentes marques de tracteur).

▲ Figure 4. – Graphe du moteur avec courbe de renvoi.

Remerciements

L'auteur tient à remercier très vivement Camille Cedra pour sa généreuse contribution dans le cadre de la réalisation de cet article.

Résumé

Des recherches sont menées au Cemagref pour mettre au point un ordinateur embarqué à bord d'un tracteur agricole qui affiche des informations et des conseils au conducteur pour optimiser le système tracteur-outil. A terme, l'usage du tracteur sera amélioré par une interface homme-machine plus performante et plus conviviale, où le conducteur est aidé dans sa recherche de réglages optimisés. L'aspect développé ici concerne l'économie de fuel, par affichage du rapport de boîte de vitesses, et du régime moteur les plus appropriés pour le travail en cours. De nouveaux raisonnements associant économie de fuel et confort de conduite sont présentés dans cet article, ainsi qu'une nouvelle représentation de l'état de fonctionnement du moteur sur le tableau de bord. Ces raisonnements sont aussi utilisables pour un système d'avancement automatique du tracteur, tout comme le système « Cruise Control » de maintien de la vitesse d'avancement qui existe déjà sur voitures.

Abstract

Within the framework of the Mecafutur programme, a Cemagref team is working on an information system for agricultural tractors. This computer displays information and advice to the driver for an optimization of the tractor-implement system. The goal is to improve the tractor use by the means of a friendly and efficient man-machine interface, that can help the driver to find best adjustments. The point developed here is the optimization of the engine resources, by the display of the most appropriated gear box and engine speed positions for the forgoing work. This paper deals with reasonings connecting engine power and driving comfort, as a new representation of the state of the functioning engine on the dashboard. These reasonings are also usable for the establishments of driving rules for a future system of automatic travelling of the tractor, as the "cruise control" system, already experimented for the speed maintenance on cars.

Bibliographie

- CEDRA, C., 1992. Les tracteurs agricoles, Editions du Cemagref, collection *Formagri*, vol. 2 ; Dicova et Lavoisier Tec & Doc éditions, Antony, 386 p.
- CEDRA, C., GAUTHIER, D., 1990. Les moteurs diesel : technologie et fonctionnement, Cemagref-Dicova.
- CHANCELLOOR, W.-J., THAI, N.-C., 1983. Automatic Control of tractor transmission ratio and engine speed, *ASAE, paper n° 83-1061*, pp 642-646.
- GROGAN, J., MORRIS, D.-A., SEARCY, S.-W., 1984. Micro computerbased information feedback system for improving tractor efficiency, *ASAE, paper n° 84-1594*, 13 p.
- HONG, T., 1990. Contribution à la modélisation des performances de traction d'un tracteur agricole au labour, *Thèse ENSAM*, 209 p.
- JAHNS, G., 1983. A method of describing diesel engine performance maps, *ASAE, paper n° NCR 83-101*.
- JAHNS, G., SPECKMANN, H., 1988. Driver aids for optimal tractor utilization, *ASAE, n° 88-1062*, 8 p.
- MORRIS, D.-A., SEARCY, S.-W., STOUT, B.-A., 1987. On board tractor Microcomputer system, *Agric. Engng Res. n° 38*.
- SCHROCK, M.-D., MATTESON, D.-K., THOMPSON J.-G., 1982. A gear selection aid for agricultural tractors, *ASAE, paper n° 82-5515*, 15 p.
- STEPHEN, L.-E., SPENCER, A.-D., FLOYED, V.-G., 1981. Energy requirements for tillage and planting, *ASAE Pub., 4-1981 (American Society of Agricultural Engineers)*.
- VERMA, S., 1989. Contribution à la modélisation du comportement au labour d'un ensemble tracteur charrue, *Thèse INA-PG*.
- WANG, G., ZOERB, G.-C., 1985. A tractor gear selection ; indicator, *ASAE Paper n° 85-1051*, 14 p.